

Зачем нужны  
искусственные  
вирусы, обходящие  
иммунитет  
человека | 22

Пандемия закончена,  
но люди продолжают  
умирать  
от ковида | 08

Богатейшее  
месторождение  
редкоземельных  
металлов посреди  
города | 16

«Луч солнца  
приводит в действие  
чудовищный маховик  
паровой  
машины» | 06

«Мальчик»,  
который  
слишком сильно  
согревает  
Россию | 03





**ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР**  
АО «КОММЕРСАНТЪ»,  
**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**  
ВЛАДИМИР ЖЕЛОНКИН  
**РУКОВОДИТЕЛЬ СЛУЖБЫ**  
«ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СИНДИКАТ»  
ВЛАДИМИР ЛАВИЦКИЙ  
**РЕДАКТОР**  
ОЛГА ГРИБОВА  
**НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ**  
АЛЕКСАНДР КРАВЕЦКИЙ,  
КАНДИДАТ ФИЛОЛОГИЧЕСКИХ  
НАУК  
АНДРЕЙ МИХЕЕНКОВ, ДОКТОР  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК  
СЕРГЕЙ ПЕТУХОВ, КАНДИДАТ  
БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК  
**ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР**  
КИРА ВАСИЛЬЕВА  
**ГЛАВНЫЙ ХУДОЖНИК**  
ГАЛИНА ДИЦМАН  
**ФОТОРЕДАКТОРЫ**  
ГАЛИНА КОЖЕУРОВА,  
ЕКАТЕРИНА РЕПЯХ  
**ГРАФИКА**  
ВЛАДИМИР БЕЛОВ  
**КОРРЕКТОР**  
ЕЛЕНА ВИЛКОВА  
**ВЕРСТКА**  
ЕЛЕНА БОГОПОЛЬСКАЯ,  
ТАТЬЯНА ЕРЕМЕЕВА,  
МАРИНА ЗАБОТКИНА,  
ИРИНА РОМАНОВСКАЯ,  
КОНСТАНТИН ШЕХОВЦЕВ  
**ФОТО НА ОБЛОЖКЕ**  
E+ / GETTY IMAGES

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ:  
123112, Г. МОСКВА,  
ПРЕСНЕНСКАЯ НАБ.,  
Д. 10, БЛОК С  
ТЕЛ. (495) 797-6970,  
(495) 926-3301

УЧРЕДИТЕЛЬ:  
АО «КОММЕРСАНТЪ»

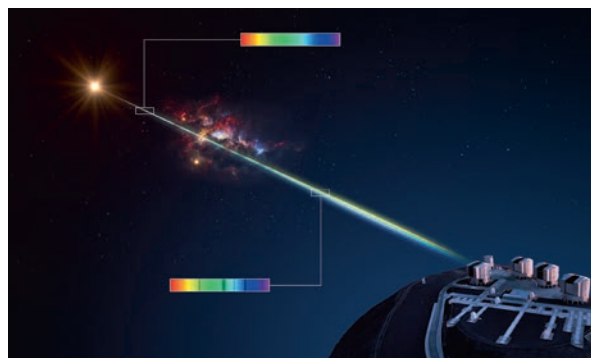
ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ  
К ГАЗЕТЕ «КОММЕРСАНТЪ»  
ЗАРЕГИСТРИРОВАНО  
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБОЙ  
ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ СВЯЗИ,  
ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ,  
РЕГИСТРАЦИОННЫЙ НОМЕР  
И ДАТА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ  
О РЕГИСТРАЦИИ:  
ПИ № ФС77-76923 ОТ 11.10.2019

ТИПОГРАФИЯ:  
ООО «ПЕРВЫЙ  
ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»,  
РОССИЯ, 143405, МОСКОВСКАЯ  
ОБЛАСТЬ, Г. КРАСНОГОРСК,  
ПЛО «КРАСНОГОРСК-5»,  
ИЛЬИНСКОЕ ШОССЕ 4-Й КМ.  
ТИРАЖ: 41 000  
РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ  
БЕСПЛАТНО

16+



СЕРГЕЙ МИХЕЕВ



ESO/ING



SPACEX



АНДРЕЙ АФАНАСЬЕВ

## НОВОСТИ

### 03 изменения климата

Как феномен Эль-Ниньо сказывается на погоде в мире и вечной мерзлоте в России

## картина мира

### 04 археология

Что рассказывают о сарматах драгоценные находки из их захоронений

## история науки

### 06 биология

Юбилей Климента Тимирязева, раскрывшего тайну фотосинтеза

## СОБЫТИЯ

### 08 эпидемиология

Ковид отступил, но прививаться жизненно необходимо

### 10 зоология

Как остановить стремительное исчезновение крупнейших в мире морских звезд

### 12 материаловедение

В России создается элементная база, работающая на новых физических принципах

### 14 астрофизика

Какими были древнейшие звезды, появившиеся после Большого взрыва

## как это делается

### 16 вторичное сырье

Утилизация отработавшей свое компьютерной техники оказалась выгодным делом

### 18 технологии

Компания ЛУКОЙЛ применяет новые методы утилизации CO<sub>2</sub>

### 21 фармацевтика

Препарат, который помогает бороться со среднетяжелым течением ковида

### 22 генетика

Новый метод лечения гемофилии работает прямо из человеческой клетки

### 24 микроэлектроника

Создаются гетероструктуры для принципиально новых датчиков

### 26 экология

Как сделать рынок подержанной мобильной техники удобным и безопасным

## исследования

### 27 космонавтика

Начинается новый этап колонизации единственного спутника Земли

### 30 океанология

Бактерии формируют себе надежное убежище и одновременно создают запасы сырья

### 32 нейрофармакология

Финансовая пирамида MMM позволила Раулю Гайнетдинову сохранить лабораторию

### 34 нейропсихология

Согласованной всем медицинским сообществом методики диагностики аутизма до сих пор нет

## образование

### 36 концепция

Выявлять и акцентировать проблемы гуманитарной науки в целом — вот задача теологии

## интервью

### 37 физиология

Академик Юрий Наточин: жизнь появилась не в морях, а в озерах, причем в калиевых озерах

# Эпоха «посткремниевой долины»

Российские ученые разработали новые материалы для решения задач современной и перспективной электроники, промышленного производства, систем связи и коммуникаций, экологии, создали научный и технологический задел для электронной компонентной базы и устройств электроники и твердотельной фотоники на новых физических принципах. На это у них было три года.

Чем выше скорость развития информационных технологий, тем большая нагрузка ложится на компьютеры. Их производительность зависит от многих вещей, но прежде всего от количества транзисторов — строительных блоков любой микросхемы. Чем меньше транзисторы и чем больше их в микросхемах, тем лучше и быстрее будет работа компьютера. Но настанет момент, когда уменьшать транзисторы станет невозможно. И тогда настанет эпоха посткремниевых материалов.

## Точка отсчета

Созданию возможностей и подходов для разработки компонентной базы электроники, работающей на новых физических принципах, посвящен проект «Квантовые структуры для посткремниевой электроники», главным исполнителем которого стал подведомственный Минобрнауки России Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФП СО РАН). Участники проекта занимались созданием перспективных материалов и квантовых структур на их основе, обладающих новыми свойствами и характеристиками.

Для проекта создан консорциум, в который, помимо ИФП СО РАН, вошли Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ), Институт физики микроструктур РАН (ИФМ РАН - филиал Института прикладной физики РАН) из Нижнего Новгорода, Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), Институт физики металлов им. М. Н. Михеева Уральского отделения РАН (ИФМ УрО РАН) из Екатеринбурга.

«Наш проект отличается от других научных проектов такого масштаба: обычно выбирается одно направление и силы всего коллектива сосредотачиваются на нем. У нас же цель проекта шире — мы сфокусировались на шести глобальных фундаментальных направлениях и охватили 47 разных задач, в том числе и прикладного характера. Мы успешно решили вопросы, касающиеся как установления физических закономерностей существования квантовых систем, развития технологий для реализации квантовых гетероструктур, так и создания новых материалов, электронно-компонентной базы на новых физических принципах для посткремниевой электроники», — отмечает руководитель проекта, директор Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН академик РАН Александр Латышев.

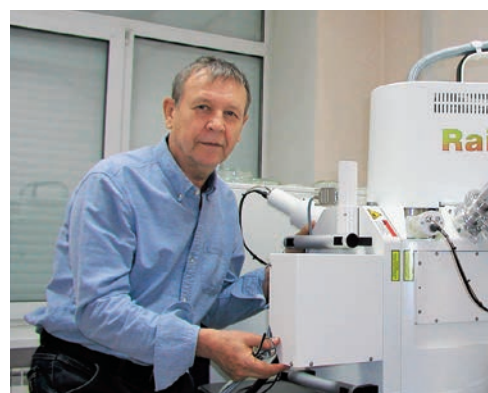
«Думаю, что появление проекта, посвященного поиску путей развития посткремниевой электроники, неслучайно и связано с ожидаемым нарушением закона Гордона Мура, согласно которому в рамках кремниевой технологии количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые два года. Понятно, что геометрические размеры транзисторов должны достигнуть своего минимума, что, по самым пессимистичным прогнозам, приведет к стагнации кремниевой электроники. Конечно, не все так мрачно, развитие микроэлектроники продолжается, хотя во многом оно связано с использованием в традиционной кремниевой технологии разных некремниевых материалов», — рассказывает заместитель директора по научной работе ИФП СО РАН, ответственный исполнитель проекта доктор физико-математических наук Александр Милехин.

## ТРИ ГОДА И 300 МИЛЛИОНОВ

Проект «Квантовые структуры для посткремниевой электроники» стал победителем конкурса Минобрнауки России по приоритетным направлениям научно-технологического развития РФ. Проект рассчитан на три года, финансирование — 300 млн руб. В 2022 году проект рассматривался экспертами РАН и принимался на заседании комиссии министерства. Отчет получил высокую оценку экспертов, а проект рекомендован комиссией к продолжению.



— Руководитель проекта, директор Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН академик РАН Александр Латышев



— Ведущий научный сотрудник НГУ доктор физико-математических наук Александр Шкляев

## ДВУМЕРНЫЙ ГАЗ

В проекте задействованы основные направления физики полупроводников. Исследователи получили новые данные, необходимые для повышения рабочей температуры длинноволновых лазеров, разработки твердотельного квантового компьютера, создания приемников излучения терагерцового диапазона, антиотражающих покрытий, транзисторов, в которых используются свойства двумерного электронного газа.

## Почему квантовые структуры интересны ученым?

Квантовые эффекты проявляются в объектах чрезвычайно малых геометрических размеров с характерной величиной 10 нанометров. То есть на обычную единицу площади таких структур поместится очень много. Кроме того, свойства таких объектов сильно отличаются от свойств макроскопических материалов, из которых они состоят. Причем свойствами квантовых структур можно управлять, меняя лишь их размер.

Используя такие структуры, можно не только реализовать большое число активных элементов на чипе (например, транзисторов), но и создавать устройства нового типа с малым энергопотреблением, с большей скоростью обмена данными, с большими объемами хранимой информации.

Установление физических закономерностей созданных квантовых и топологических полупроводниковых материалов, гетеросистем и структур и определение возможностей их использования для перспективной посткремниевой электроники — важная фундаментальная часть проекта. Такие структуры должны стать основой для прототипов устройств электроники, твердотельной нанофотоники, сенсорики, инфракрасной техники, устройств памяти, полупроводниковых лазеров, фотоприемников, устройств управления излучением.

## Найти нужные материалы

Глобальная цель проекта — обеспечить научным базисом исследования в области новых материалов и элементной базы, работающей на новых физических принципах.

Ученые работали с разными твердотельными материалами, созданными искусственно, специально под задачи проекта. Это разные полупроводники, изоляторы и сверхизоляторы, многослойные сложные полупроводниковые наноструктуры, гибридные структуры, высокочувствительные к магнитному полю, сверхпроводники.

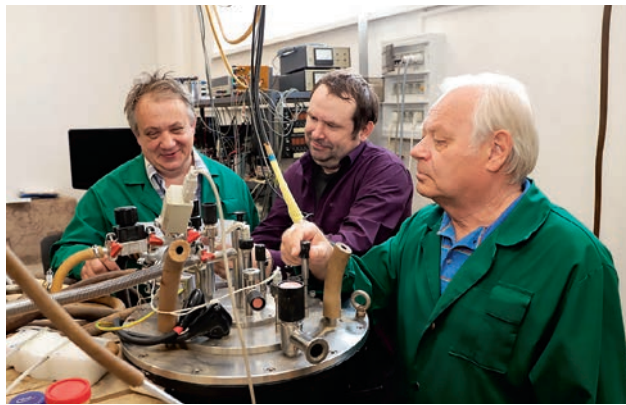
В частности, исследовались двумерные структуры на основе теллуридов кадмия-ртути (КРТ), а также соединений свинца-олова-теллура. Эти материалы перспективны для создания на их основе приборов, работающих на новых физических принципах. Например, спинтронных устройств, в которых перенос информации происходит при помощи спина электрона, а не заряда, как это осуществляется в традиционной электронике. За счет этого возможен большой выигрыш в скорости обработки и передачи информации, энергопотреблении, миниатюризации.

«Во время выполнения проекта нам впервые удалось создать вакуумный спиновый светоизлучающий диод. Для создания спин-поляризованных электронов и их детектирования в созданном диоде не требуется наличие магнитных слоев и внешнего магнитного поля, что принципиально отличает этот прибор от монолитных спиновых светодиодов (spin-LED). Вакуумный спиновый светодиод показал также значительно более высокую эффективность спиновой инжекции при комнатной температуре. Созданный прибор впервые позволил продемонстрировать возможность использования полупроводниковых гетероструктур в детектировании поляризации электронного пучка с пространственным разрешением, а также открыть новый эффективный источник спин-поляризованных электронов», — рассказал заведующий лабораторией ИФП СО РАН профессор РАН Олег Терещенко.





— Сотрудники молодежной лаборатории ИФП СО РАН Евгений Багочюс (на переднем плане) и Виталий Тумашев (на заднем плане) работают в чистом помещении



— Участники проекта от ИФМ УрО РАН. Справа налево: доктор наук Михаил Якунин (руководитель блока проекта в ИФМ УрО РАН), кандидат наук А. С. Боголюбский, доктор наук В. Н. Неверов



— Заместитель директора по научной работе ИФП СО РАН доктор наук Максим Якушев

### Вдаваясь в детали

По словам Олега Терещенко, соединения на основе теллуридов кадмия-ртути и свинца-олова интересны как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. При определенных соотношениях составов эти соединения проявляют свойства так называемого топологического изолятора.

Топологические изоляторы — это материалы, структура которых заставляет фотоны, электроны и другие типы квазичастиц двигаться только вдоль границы материала. Главное отличие топологических изоляторов от прочих полупроводников — в топологической защите поверхностных состояний от дефектов и изменения температуры.

Прикладной аспект заключается в создании фотоприемных устройств на основе теллуридов кадмия-ртути и свинца-олова, чувствительных в ближнем, дальнем инфракрасном диапазоне и вплоть до терагерцового диапазона. Терагерцовое излучение «просвечивает» многие материалы, не ионизируя и не разрушая их, и может использоваться в диагностической медицине, системах безопасности.

Тонкие полупроводниковые пленки КРТ выращиваются на оборудовании, разработанном специалистами Института физики полупроводников. К старту проекта «Квантовые структуры для посткремниевой электроники» ученые уже обладали многолетним опытом работы на оборудовании, провели несколько циклов модернизации. Кроме того, была создана технология, позволяющая изготавливать структуры в соответствии со специальным электронным дизайном.

«Материал теллурида кадмия и ртути представляет массу возможностей для исследования новых физических эффектов. В последние годы наблюдается повышенный интерес к квантовым ямам на основе твердого раствора теллурида кадмия и ртути, которые обладают рядом замечательных свойств. Возможность получения произвольной ширины запрещенной зоны вплоть до нуля делает эти структуры перспективными для применения в области инфракрасной и терагерцовой оптоэлектроники (например, создание лазеров и фотоприемников для этих диапазонов излучения). Квантовые ямы на основе твердого раствора теллурида кадмия и ртути с инвертированной зонной структурой являются двумерными топологическими изоляторами (то есть в них имеются локализованные на краях образца состояния с нулевой шириной запрещенной зоны, для которых спин электрона определяется направлением движения)», — рассказывает заместитель директора по научной работе ИФП СО РАН доктор физико-математических наук Максим Якушев.

Наибольший же интерес представляют магнитные версии топологических изоляторов, в которых осуществима реализация множества ранее «невозможных» квантовых эффектов — например, состояние аксионного изолятора.

«Использование магнитных топологических изоляторов может обеспечить прорыв в области квантовых коммуникаций, вычислений, криптографических методов и машинного обучения. Наиболее перспективная платформа для реализации данных технологий — собственный антиферромагнитный топологический изолятор  $MnBi_2Te_4$ . Мы исследовали несколько типов данных топологических изоляторов, включая производные соединения, в которых варьировались магнитные и электронные свойства, и выявили основные факторы, ответственные за топологические свойства исследованных систем: например, внешнее электрическое поле, точечные дефекты, параметры спин-орбитального взаимодействия в системе. Подстраивая данные свойства, можно улучшить условия проявления квантовых топологических эффектов, что позволит реализовать устройства спинтроники при повышенных температурах», — поясняет профессор СПбГУ, доктор физико-математических наук Александр Шикин.

«Мы разработали метаматериалы для управления терагерцовым излучением и приступили к созданию приборов. Терагерцовое излучение перспективно для использования в системах связи нового поколения 6G. Кроме того, терагерцовые волны безопасны для живых существ, но при этом проходят сквозь многие оптически непрозрачные среды, что позволяет выявлять скрытые в них дефекты и подозрительные объекты. Мы начали разработку многоканальных пироэлектрических субтерагерцовых детекторов для систем безопасности, предполагающих досмотр человека, а также писем и посылок», — отмечает ведущий научный сотрудник НГУ доктор физико-математических наук Александр Шкляев.

Ученые ИФМ РАН, филиала Института прикладной физики РАН, используя полупроводниковый квантово-размерный материал, предоставленный специалистами ИФП СО РАН, разработали схему вертикально-излуча-

ющего лазера для дальнего инфракрасного диапазона и терагерцового квантово-каскадного лазера (ККЛ) на новой гетеропаре, работающего в диапазоне частот, недоступном для уже существующих ККЛ.

«Мы выявили условия преобладания излучательных процессов, нашли способы подавления безызлучательных (так называемой оже-рекомбинации), установили возможность управления рекомбинационными процессами. В результате мы предложили оптимальные дизайны для лазерных структур. Рабочие температуры лазеров — криогенные, тем не менее, для квантово-каскадного терагерцового лазера рабочая температура уже довольно высокая (выше температуры жидкого азота), что допускает его применение для решения прикладных задач», — поясняет заведующий лабораторией ИФМ РАН доктор физико-математических наук Сергей Морозов.

### Неожиданные открытия

Работая с высокотехнологичным материалом, предоставленным сотрудниками ИФП СО РАН, специалисты ИФМ УрО РАН исследовали межслоевое взаимодействие в гетеросистемах на основе теллурида кадмия и ртути. Ученые сфокусировались на наноструктурах — квантовых ямах, в которых два очень тонких (квазидвумерных) слоя теллурида ртути разделены барьером из теллурида кадмия и ртути. Обнаружилось, что двойные квантовые ямы обладают сильной чувствительностью к перпендикулярно приложенному электрическому полю. Эту особенность можно использовать при создании датчиков, чувствительных к инфракрасному излучению, и разного рода сенсоров.

«На высокую чувствительность мы случайно натолкнулись в наших экспериментах. Выяснилось, что на идентичных образцах (изготовленных из одной пластины исходного материала) в двойных квантовых ямах мы получаем сильно отличающиеся результаты измерений — в частности, разное магнитосопротивление. Хотя все должно быть одинаково и образцы с одиночными квантовыми ямами такого эффекта не демонстрировали. Стали разбираться: по расчетам зонной структуры получилось, что у двойной и у одиночной квантовой ямы совершенно разной силы реакция на перпендикулярное электрическое поле. Проверка в эксперименте подтвердила правильность расчетов, и мы пришли к выводу, что реакция обусловлена поверхностными характеристиками образца и наличием в нем электрически активных дефектов. Обнаруженное свойство может использоваться для создания сенсоров, но при этом к внутренней структуре материала, чистоте его поверхности предъявляются повышенные требования», — рассказал заведующий лабораторией полупроводников и полуметаллов ИФМ УрО РАН доктор физико-математических наук Михаил Якунин.

Подготовлено по материалам, предоставленным пресс-службой ИФП СО РАН

### НАУЧНАЯ КООПЕРАЦИЯ

В проекте «Квантовые структуры для посткремниевой электроники» принимают участие 166 исполнителей, из них: академик — 1 (руководитель проекта), члены-корреспонденты РАН — 3, доктора наук — 31, кандидаты наук — 68. ИФП СО РАН был донором (поставщиком) новых материалов и гетеросистем для участников проекта, ИФМ УрО РАН имеет богатый опыт по моделированию и экспериментальному исследованию магнитотранспорта квантовых структур, у специалистов ИФМ РАН большой опыт в разработке полупроводниковых лазеров инфракрасных и терагерцовых диапазонов, команда из СПбГУ — эксперты в области изучения новых топологических систем, а НГУ ведет активные работы по разработке уникальных оптических элементов. Научное оборудование, находящееся в распоряжении участников проекта, фактически работает в режиме коллективного пользования.